

IAP9 Rec'd PCT/PTO 22 AUG 2006

mal der Grundbitrate 10 GBit/s eines Kanals aufweist. In diesem Fall beträgt die Gesamtanzahl Nges der Kanäle eine vielfache Zahl von 4. Zur Realisierung einer dafür passenden Anordnung nach dem Modell der Figur 2 jedoch für N zeitmultiplexierte Kanäle werden mindestens $N_{ges}/4$ Abzweigungen bzw. Neuhinzufügungen sowie $1+N_{ges}/4$ Zeitverschiebungen für Inhalte X, Y der Kanäle beider Zeitmultiplex-Signale S1, S2 benötigt werden. Mit anderen Worten sind $N_{ges}/4$ Drop-Module, $N_{ges}/4$ Einkoppeleinrichtungen und $1+N_{ges}/4$ Zeitverzögerungsglieder erforderlich. Nach dem Beispiel der Figur 2 wurden zwei Drop-Module, zwei Einkoppeleinrichtungen und zwei (drei mit T1) Zeitverzögerungsglieder für das erste Zeitmultiplex-Signal S1 sowie weitere zwei Drop-Module, zwei Einkoppeleinrichtungen und zwei Zeitverzögerungsglieder für das zweite Zeitmultiplex-Signal S2 seriell angeordnet. Diese symmetrische Anordnung für beide Zeitmultiplex-Signale S1, S2 ist gegenüber einer unsymmetrischen Anordnung wie z. B. drei serielle Ketten "Drop-Module, Einkoppeleinrichtungen und Zeitverzögerungsglieder" für das erste Zeitmultiplex-Signal S1 und eine serielle Kette "Drop-Module, Einkoppeleinrichtungen und Zeitverzögerungsglieder" für das zweite Zeitmultiplex-Signal S2 vorteilhaft, da in einer unsymmetrischen Anordnung die Eigenschaften der unsymmetrisch übertragenen Signale unterschiedlich beeinflusst werden. Mit anderen Worten werden z. B. unterschiedliche Verstärkungsmittel in jeder seriellen Kette angepasst werden müssen. Deshalb wird angestrebt, dass eine möglichst gleiche Zahl kanalbezogener Abzweigungen, Zeitverschiebungen und Neuhinzufügungen für jedes zusammenzufassende Zeitmultiplex-Signal S1, S2 verwendet wird.

In symmetrischen Anordnungen wird eine Mindestganzzahl $\text{Int}(0,5+N_{ges}/8)$ von derartigen Ketten "Drop-Module, Einkoppeleinrichtungen und Zeitverzögerungsglieder" zur kanalbezogener Operationen je für einen Zeitmultiplex-Signal S1, S2 verwendet.

In Fig. 3 ist eine Vorrichtung zur Identifizierung der Belegung von Kanälen bei hochbitratigen Zeitmultiplex-Signalen

dargestellt. Eine solche Vorrichtung ist gemäß Figur 2 die sogenannte Detektionseinheit DE, die Informationen über die kollisionswürdige Belegung von zusammenfassenden Kanälen sowie über mögliche noch verfügbare freie Zeitschlitze zur Vermeidung einer Kollision an die Steuereinheit CTRL übermittelt. Die hier dargestellte Vorrichtung wird für einen Signalanteil AS1 des Zeitmultiplex-Signals S1 beschrieben. Die Detektionseinheit DE gemäß Figur 2 weist zwei parallel geschaltete derartige Vorrichtungen für jedes Zeitmultiplex-Signal S1, S2 auf, deren Ausgänge mit der Steuereinheit CTRL angeschlossen sind.

An Eingängen eines optischen Kopplers K1 werden der Signalanteil mit z. B. einer Datenrate von 160 GBit/s mit einem weiteren Kontrollpuls PS mit gleicher Bitrate zugeführt und damit überlagert. An einem Ausgang des optischen Kopplers K1 wird eine Avalanche-Photodiode D1 geschaltet, deren Ausgangssignal einem Analog-Digital-Wandler ADW zugeführt ist. Dem Analog-Digital-Wandler ADW ist eine Monitoreinheit MONITOR nachgeschaltet, bei der Impulse bei belegten bzw. nicht belegten Kanälen ermittelt werden. Die hier verwendete Avalanche-Photodiode A1 ist auf zwei-Photonen Absorption empfindlich. Wird nun der Kontrollpuls PS schrittweise zeitverzögert und während der Zeitverzögerung der Photostrom der Avalanche-Photodiode A1 aufgetragen ergeben sich Einbrüche bei leeren Zeitschlitzen. Es können Anstelle der Avalanche-Photodioden wie oben beschrieben beliebige nicht-lineare Elemente wie ein Halbleiter-Verstärker oder eine optische Faser mit starkem linearen Effekt verwendet werden. Auch kaskadierte elektroakustische Modulatoren können als Detektionseinheiten verwendet werden. Da die Bandbreite des Demultiplexers mindestens der halben Bitrate des Zeitmultiplex-Signals S1, S2 betragen muss, und wenn beliebige leere Zeitschlitze zu detektieren sind (im schlimmsten Fall, jede zweite Zeitschlitze), reicht die Verwendung eines einzelnen elektroakustischen Modulators z. B. bei 160 GBit/s aus.

Wenn ein Signalanteil des zweiten Zeitmultiplex-Signals S2 ebenfalls einer weiteren identischen Vorrichtung (siehe K2, D2 in Figur 2) abgegeben wird, erhält man dieselbe Information hinsichtlich der Belegung seiner Kanäle. Durch einen Vergleich zwischen Ausgangssignalen jeweiliger Analog-Digital-Wandler bzw. Monitoreinheiten können die zeitübereinstimmenden gemeinsam belegten und nicht belegten Kanäle ermittelt werden.

- 10 In Figur 4 ist eine zweite Anordnung zur Zusammenfassung von Zeitmultiplex-Signalen S1, S2 gemäß Figur 2 bei Kollisionsgefahr ihrer Kanäle dargestellt. Dabei beträgt die maximale Gesamtanzahl von Kanälen $N_{ges}=16$ und der Fall $N_1+N_2>N$ d. h. dass die Gesamtanzahl der belegten Kanäle die Anzahl N der
- 15 Kanäle des resultierenden Zeitmultiplex-Signals S3 übersteigt, kann vorkommen.

An Eingängen der Anordnung für beide einkommenden Signale S1, S2 wird jeweils eine Zeitschlitzkontrolleinheit ZKE1, ZKE2 eingefügt, die die Position und die Anzahl der belegten

20 Zeitschlitz (Datenkanäle) bestimmt. Der zweiten Zeitschlitzkontrolleinheit ZKE2 ist ein zusätzliches Add-Drop-Modul OADM5 nachgeschaltet, dessen Durchschaltausgang mit dem Eingang des ersten Add-Drop-Moduls OADM3 im Pfad des Datensignals S2 geschaltet ist. Ist die Bedingung $N_1+N_2 \leq N$ erfüllt,

25 wird das zusätzliche Add-Drop-Modul OADM5 so eingestellt, dass alle Datenkanäle gemäß Figur 2 zum Zusammenführen der Signale S1 und S2 zugeführt werden. Tritt der Fall $N_1+N_2 > N$ ein, werden im zusätzlichen Add-Drop-Modul OADM5 eine Anzahl von N_1+N_2-N Datenkanälen des zweiten Zeit-Multiplexsignals S2

30 ausgekoppelt, dass die Bedingung $N_1+N_2=N$ in dem Pfad mit beiden Add-Drop-Modulen OADM3, OADM4 erfüllt ist. Die N_1+N_2-N ausgekoppelten Kanäle - als Drop-Signal SK mit einer Wellenlänge λ_1 - werden einem Wellenlängenkonverter λ -KONV zugeführt, der den entsprechenden Datenkanälen eine neue Wellenlänge λ_2 zuweist. Diese neue Wellenlänge λ_2 muss sich in das für das Gesamtnetz gewählte Wellenlängenschema - ggf. nach

35 Standart ITU-T - einfügen. Insgesamt werden am Ausgang der in beiden Pfaden letztgeschalteten Add-Drop-Module OADM2, OADM4

eine Anzahl von N1 und N2 Kanälen mit Wellenlänge λ_1 in einem Zeitmultiplexsignal S mit N vollbelegten Kanälen zusammengefasst. Das Zeitmultiplexsignal S weist die Wellenlänge λ_1 auf und kann ferner mittels eines Wellenlängenmultiplexer W-MUX mit dem vorigen ausgekoppelten Drop-Signal SK mit der konvertierten Wellenlänge λ_2 in einer WDM-Übertragungsstrecke zusammengefügt werden. Damit wird ein OTDM-Add-Vorrichtung für beliebig belegten Zeitmultiplexsignalen, bei der mittels einer Datenventile - hier das Add-Drop-Modul OADM5 - mit anschließendem Wechsel der ursprünglichen Granularität - hier die Wellenlänge - von kollisionsgefährdeten Kanälen in beiden Zeitmultiplexsignalen S1, S2 wenigstens ein kollisionsfreies vollbelegtes Ausgangszeitmultiplexsignal S erzeugt. Idealerweise soll das zusätzliche Add-Drop-Modul OADM5 die Kanalauswahl so treffen, dass eine möglichst geringe Reihenfolgenänderung oder Zuordnung der Kanälen durch die darauf folgende Vorrichtung gemäß Figur 2 vorgenommen werden muss. Sollten beispielsweise die einkommenden Signale folgendermaßen belegt sein (0 = nicht belegt, x belegt für S1, y belegt S2, N=8) [x0xx00xx] und [0y00yyy0], so wäre die Lösung mit der geringsten optischen Bearbeitung in dem darauf folgenden Verfahren, den Kanal an der 6. Stelle von S2 am zusätzlichen Add-Drop-Modul OADM5 auszukoppeln und in eine andere Wellenlänge umzuwandeln.

Es soll an dieser Stelle bemerkt werden, dass zukünftige optische Netze sehr komplex aufgebaut sein können, und dass möglicherweise eine optimale Nutzung der Netzressourcen nur durch eine zentrale Netzsteuerung erreicht werden kann, die die Zustände aller Netzknoten mit dementsprechenden Zeitmultiplex-Vorrichtungen kennt. Dementsprechend kann es für den Betrieb des gesamten Netzes oder Subnetzes günstiger sein, das zusätzliche Add-Drop-Modul OADM5 zwischen der Zeitschlitzkontrolle ZKE2 und der in Figur 2 beschriebenen Vorrichtung - am Eingangssignal S2 - so zu schalten, dass alle ankommenden Datenkanäle des Zeitmultiplexsignals S2 in den Auskopplung-Lichtpfad, der zum Wellenlängenkonverter λ -KONV führt, zu schalten.

Eine vollständige Knotenarchitektur mit einer der erfindungs-
gemäßen Vorrichtungen muss nun selbstverständlich darauf aus-
gelegt sein, dass schon Signale $S_{WDM/OTDM}$ mit mehreren Wellen-
längen in vorhergehenden Knoten gemultiplext wurden, die je-
weils einen Datenstrom aus OTDM Signalen enthalten. Ein Aus-
führungsbeispiel einer Knotenarchitektur, die dies berück-
sichtigt ist in **Figur 5** dargestellt, wobei derartige Signale
 $S_{WDM/OTDM}$ in einem Wellenlängen-Demultiplexer W-DEMUX am Ein-
gang des Knoten in mehrere OTDM-Datenströme $S_{11}, \dots,$
 S_{1i}, \dots, S_{1m} mit unterschiedlichen Wellenlängen
 $\lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m$ und Kanälen $M_1, \dots, M_i, \dots, M_m$ ge-
trennt werden. Hierbei wird auch noch berücksichtigt, dass an
einem Knoten - hier mittels Drop-Vorrichtungen OADM₆₁, ...,
OADM_{6i}, ..., OADM_{6m} an Ausgängen des Wellenlängen-
Demultiplexers W-DEMUX - auch Datenkanäle
 $S_{11DROP}, \dots, S_{1iDROP}, \dots, S_{1mDROP}$ mit einer Kanalzahl
 $K_1, \dots, K_i, \dots, K_m$ abgezweigt werden können, die entspre-
chend neue freie Zeitschlitzze schaffen. Zudem werden die ü-
berschüssigen Datenkanäle, die nicht mehr den Datenströmen
mit Wellenlängen $\lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m$ zugeführt werden kön-
nen, gezielt in eine Wellenlänge konvertiert, die noch freie
Kapazität hat.
Ferner wird am Durchschaltungssausgang jeweiliger Drop-
Vorrichtung OADM₆₁, ..., OADM_{6i}, ..., OADM_{6m} eine Anordnung
ZKE₁, ZKE₂, OADM₁, OADM₂, OADM₃, OADM₄, OADM₅, T₀, T₁, T₂,
T₃, T₄, K₀, CTRL, λ -KONV gemäß **Figur 4** nun mit erstem Zeit-
multiplexsignal $S_{11}, \dots, S_{1i}, \dots, S_{1m}$ jeweils mit
 $N_1, \dots, N_i, \dots, N_m$ nicht-gedropten Datenkanälen nachge-
schaltet, wobei $N_i = M_i - K_i$. Über eine Zeitschlitzkontrollein-
heit ZKE₂ und einen Add-Drop-Modul OADM₅ jeder Anordnung ge-
mäß **Figur 4** wird ein zweites Zeitmultiplexsignal $S_{21}, \dots,$
 S_{2i}, \dots, S_{2m} mit $N_{21}, \dots, N_{2i}, \dots, N_{2m}$ (zeitmultiplexier-
ten) Datenkanälen mit den ersten Zeitmultiplexsignalen
 $S_{11}, \dots, S_{1i}, \dots, S_{1m}$ zusammengefasst. Im Falle einer Kol-
lisionsgefahr zwischen Datenkanälen der ersten und zweiten
Zeitmultiplexsignale S_{1i}, S_{2i} ($i=1, \dots, m$) verfügt der Add-
Drop-Modul OADM₅ aus einem Drop-Signal SK_i gemäß **Figur 4**, dem

über den Wellenlängen-Konverter λ -KONV und/oder einen zusätzlichen Wellenlängen-Schalter λ -SWITCH eine andere Wellenlänge λ_j mit $j \neq i$ zugewiesen wird. Aus Klarheitsgründen ist diese Schaltung gemäß Figur 4 nur für beide Zeitmultiplexsignale S11 und S21 dargestellt. Das wellenlängenkonvertierte bzw. -geschaltete Signal S_{ADD} wird weiterhin als zweites Eingang-Zeitmultiplexsignal S2i einer weiteren Anordnung gemäß Figur 4 zugeführt, deren das erste zusammenzufassende Zeitmultiplexsignal S1i die gleiche Wellenlänge - λ_i in Figur 4 - aufweist.

Zur Steuerung jeweiliger Vorrichtung zur Zusammenfassung von mindestens zwei Zeitmultiplex-Signalen S11, S12, ..., S1i, S2i, ... ist gemäß Figur 2 oder 4 eine Kontrolleinheit CTRL vorhanden, die am einfachsten an einer Hauptkontrolleinheit CTRLM verbunden ist, derart dass bei Kollisionsgefahr in einer der Vorrichtungen eine Konvertierung oder Umschaltung einer Wellenlänge für kollisionsgefährdete Datenkanäle zu einer weiteren Vorrichtung mit wenigerer Kollisionsgefahr - d. h. freie Zeitschlitz sind verfügbar - durchgeführt wird. Am Ende - Koppler KO - jeder Vorrichtung sind alle zusammengefasste OTDM-Zeitmultiplexkanäle mit unterschiedlichen Wellenlängen wiederum mittels eines Wellenlängenmultiplexers W-MUX zur Weiterübertragung eines WDM-OTDM-Signals $S'_{WDM/OTDM}$ zusammengefasst. Im Vergleich zum ersten eingehenden WDM-OTDM-Signal $S_{WDM/OTDM}$ weist das ausgehende WDM-OTDM-Signals $S'_{WDM/OTDM}$ OTDM-Datenströme mit optimal voll besetzter Bandbreite pro Wellenlänge auf. Damit sind die unnötig unbesetzten Datenkanäle unterdrückt und ein Gewinn der Bandbreite in Wellenlängenbereich wird dadurch erreicht. Dabei wurden auch dem ersten eingehenden WDM-OTDM-Signal $S_{WDM/OTDM}$ Zeitmultiplex-Signale S1i_{DROP}, S2i mit beliebigen Datenkanälen entfernt und/oder hinzugefügt.

Es soll betont werden, dass die genaue Architektur eines vollständigen Netzknoten auch von der maximalen Anzahl der Wellenlängen und der OTDM-Datenkanäle innerhalb einer Wellenlänge abhängt. Für eine geringe Anzahl von Wellenlängen, z. B. bei 2 Wellenlängen, kann eine 1 zu 1 Zuordnung sinnvoll

sein, d. h. beide Wellenlängen können jeweils in die andere Wellenlänge umgewandelt und eingefügt werden. Bei mehreren Wellenlängen λ_1 , λ_2 , λ_3 , ... kann evtl. eine Kaskade sinnvoll sein, die eine Konvertierung bzw. eine Umschaltung zwischen
5 Wellenlängen $\lambda_1 \rightarrow \lambda_2$, $\lambda_2 \rightarrow \lambda_3$, etc zuführt, bzw. dem Verfahren, mit dem die OTDM Kanäle kollisionsfrei ineinander verwebt.